动 物 学 研 究 2004, Oct. 25 (5): 429-435 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research

蓝尾石龙子精子的超微结构

刘永章[1]，张永普[2,*]
(1. 温州医学院 生物学教研室，浙江 温州 325027；2. 温州师范学院 生命与环境科学学院，浙江 温州 325027)

摘要：蓝尾石龙子（*Eumeces elegans*）附睾以2.5%戊二醛和1%锇酸双重固定，按常规制作超薄切片，用H-600透射电镜研究观察精子的超微结构。精子由头部和尾组成，头部由顶体复合体和核组成，尾由颈段、中段、主段和末段组成。头部的顶体囊前部扁平，分为皮质和髓质，顶体下锥由类结晶状的顶体下物质组成，穿孔器顶端尖，穿孔器基板塞子状，细胞核延长，核内小管缺，核伸展部前端具一电子透明区，核肩圆，核陷窝锥形。颈段具片层结构，近端中心粒和远端中心粒的长轴呈直角，9束外周致密纤维与远端中心粒相应的9束三联微管相联，向后与轴丝相应的9束双联微管相联，中央纤维与2个中央单微管相联。中段短，含有线状嵴的柱状线粒体，由连续的规则小卵状或小梯形致密体组成线粒体间的环状结构，纤维鞘伸入中段，终环紧贴于细胞膜的内表面。线粒体与环状结构的模式为：rs1/mi1，rs2/mi2，rs3/mi3，rs4/mi4，横切面上每圈线粒体数目为10个。主段前面部分具薄的细胞质颗粒区。纤维3和8至主段前端消失。轴丝复合体呈"9+2"型。蓝尾石龙子精子超微结构与已描述的石龙子科种类比较发现，与蜓蜥群和胎生群的石龙子相似；但没有发现石龙子科精子的独征。

关键词：蓝尾石龙子；石龙子科；精子；超微结构
中图分类号：Q959.6 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853(2004)05-0429-07

Ultrastructure of Spermatozoa of *Eumeces elegans*

LIU Yong-zhang[1], ZHANG Yong-pu[2,*]
(1. *Department of Biology, Wenzhou Medical College, Zhejiang* 325027, *China*;
2. *School of Life and Environmental Sciences, Wenzhou Normal College, Wenzhou* 325027, *China*)

Abstract: We studied the ultrastructure of epididymal spermatozoa of *Eumeces elegans*. After epididymal tissues of *E. elegans* were double fixed with 2.5% glutaric dialdehyde and 1% osmic acid, the ultrathin section were observed under H-600 transmission electron microscopy. The spermatozoa contain two major components, a head and a tail. The head contains an acrosomal complex and a nucleus, and the tail a neck, a midpiece, a principal piece and an endpiece. The mature spermatozoa are characterized by: a depressed acrosome at the anterior portion; an acrosomal vescile divided into cortex and medulla; a subacrosomal cone filled with paracrystalline subacrosomal material; a pointed prenuclear perforatorium; a stopper-like perforatorium base plate; an elongated nucleus; an epinuclear lucent zone; rounded nuclear shoulders; a coned nuclear fossa; a bilateral stratified laminar structure within neck region; absence of a endonuclear canal; a long axis of the proximal centriole almost vertical to that of the distal centriole; nine peripheral dense fibres connecting inward with the corresponding 9 triplets of the distal centriole, and backward with the doublets of the axoneme; central fibres connecting with the two central singlets; a short midpiece; columnar mitochondria with linear cristae; each intermitochondrial ring structure consisting of the complete ring of small regularly ovoid or small trapezoid dense bodies; a fibrous sheath into the midpiece; an annulus closely attached to the inner surface of the plasma membrane; the arrangement pattern of the ring structure and mitochondria in rs1/mi1, rs2/mi2, rs3/mi3, and rs4/mi4; mitochondria in order of 10 in transverse section; a thin zone of cytoplasm at the anterior portion of the principal piece; the enlarged fiber 3 and fiber 8 disappearing at the anterior portion of the principal piece; the axoneme complex having an usual 9+2 pattern. The sperm ultrastructure of *E. elegans* is similar to that of the species within the Sphenomorphus and the Egernia groups,

收稿日期：2004-06-21；接受日期：2004-07-28
基金项目：温州市科技发展计划项目基金（S2002A021）；温州师范学院科研项目基金（2003Z18）
Foundation item: This research was funded by Wenzhou Science and Technology Development Item (S2002A021) and supported by the grants from Wenzhou Normal College (2003Z18)
* 通讯作者（Corresponding author），E-mail：zhangypu88@yahoo.com.cn，Tel：0577-86680733
第一作者简介：刘永章（1964-），男，副教授，研究方向为细胞生物学和遗传学。

but evidence of spermatozoal autapomorphies is not found in *E. elegans*.

Key words: *Eumeces elegans*; Sincidae; Spermatozoa; Ultrastructure

精子超微结构的研究有助于揭示生物的受精机理和繁殖生物学规律。近年来，有鳞类爬行动物精子超微结构作为一种独立的分类特征被运用于系统发生分析，为系统发生分析传递了重要的系统发生信息，同时也提供了系统发生的重要证据（Jamiesion, 1995b; Jamieson et al, 1995; Oliver et al, 1996; Teixeira et al, 1999a, b）。由于有鳞类蜥蜴科内精子超微结构存在着多态性现象（polymorphism）（Jamiesion, 1995b; Oliver et al, 1996; Teixeira et al, 1999a, b; Giugliano et al, 2002; Tavares-Bastos et al, 2002），包含着重要的系统发生的结构信息，可用于构建系统发生树（Teixeira et al, 1999b）。有关石龙子科 *Nangura spinosa*、*Ctenotus taeniolatus*, *Carlia pectoralis*、*Tiliqua scincoides scincoides*、*Ctenotus robustus*、*Cryptoblepharus virgatus*、*Lampropholis delicata*、*Carlia pectoralis* 和 *Mabuya* 等种类精子超微结构具有多态现象已有报道（Jamiesion & Scheltinga, 1993, 1994; Jamieson et al, 1995; Brandao et al, 2003），而科内精子超微结构的多态性信息可以增加系统发生分析的准确性，有助于科内更高分类阶元系统发生的重建（Giugliano et al, 2002; Tavares-Bastos et al, 2002）。

蓝尾石龙子（*Eumeces elegans*）主要分布在中国华中、华南、西南和台湾，是华东和华南许多地区蜥蜴区系的重要组成成分。本文对蓝尾石龙子精子的超微结构进行了详细描述，并与石龙子科其他种类的精子超微结构进行比较，旨在探讨它们之间是否存在差异性以及是否具有石龙子科的独征（autapomorphy），为有鳞类蜥蜴系统发生分析提供理论依据。

1 材料与方法

研究用的雄性蓝尾石龙子（$N=5$）于 2003 年 4 月中、下旬（繁殖期）捕自浙江温州泰顺三槐，用数显游标卡尺（±0.01 mm）测量头体长（snout-vent length, SVL），大于 69.3 mm 的个体被判定为性成熟个体（Du & Ji, 2001）。蓝尾石龙子带回实验室断头处死，剖取附睾并迅速将其切成约 1 mm^3 的小块。附睾切块用 0.1 mol/L pH 7.4 磷酸缓冲液配制的 2.5%戊二醛（v/v）和 1%锇酸（m/m）双固定，丙酮梯度脱水，618 环氧树脂包埋，瑞典 LKB2088 超薄切片机切片，醋酸铀和柠檬酸铅双重染色，日立 H-600 型透射电镜观察并拍照。蓝尾石龙子精子超微结构按 Jamieson（1995a, b）对爬行动物精子超微结构的划分标准进行描述。

2 结 果

蓝尾石龙子精子由头部和尾组成。头部由顶体复合体和核组成，尾由颈段、中段、主段和和末段组成。

2.1 头部（sperm head）

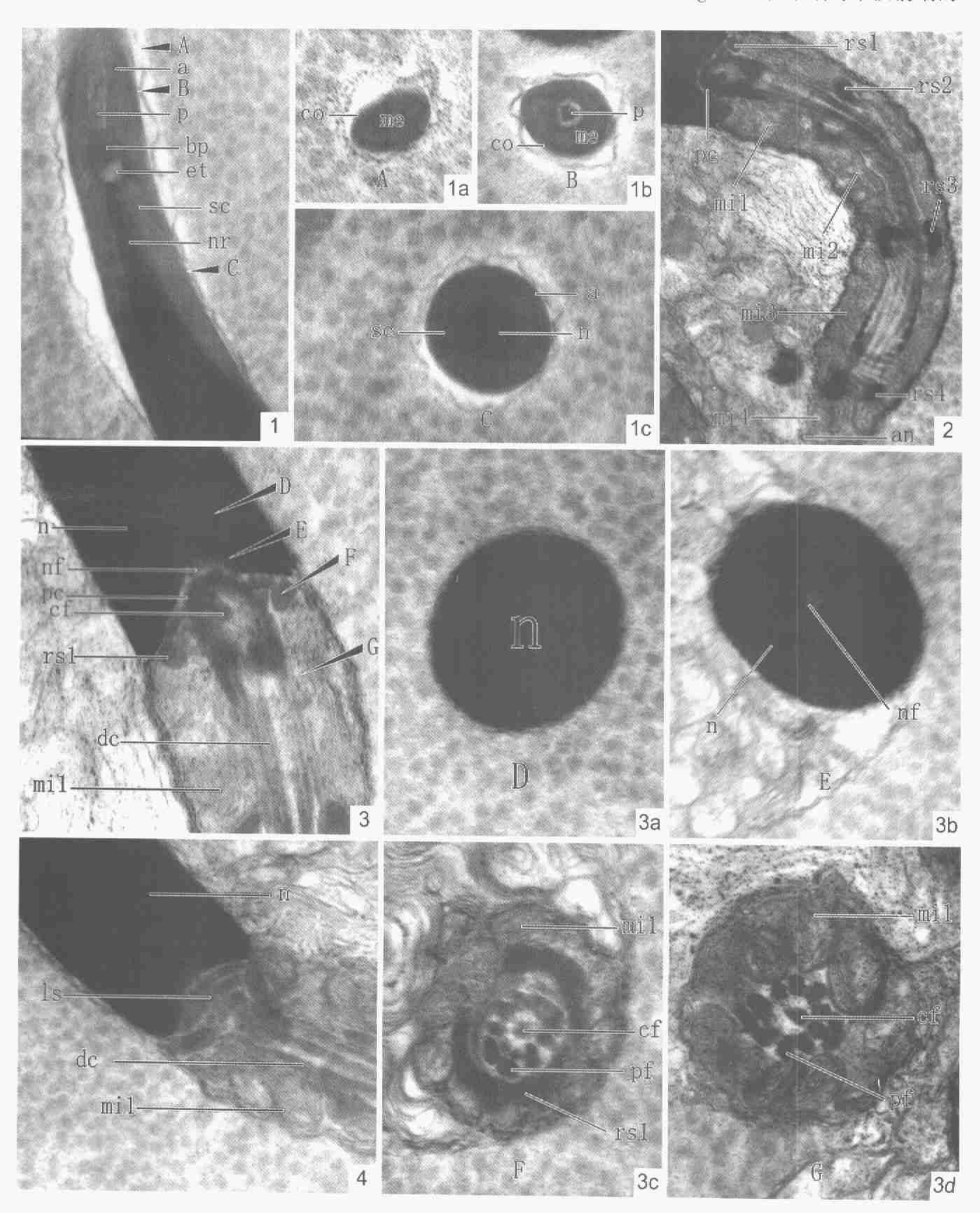
2.1.1 顶体复合体（acrosomal complex） 顶体复合体呈帽状，长约 2.95 μm，由顶体囊（acrosomal vesicle）、顶体下锥（subacrosomal cone）和穿孔器（perforatorium）组成（图 1）。顶体囊位于最前端，约占其总长度 1/2 左右的部分，呈倒“V”形，为厚壁而凹陷的锥体，由电子致密的物质组成。在纵切面上，锥体内有一窄腔，内有穿孔器（图 1），穿孔器呈细而中度电子致密的杆状，前端尖，斜列于顶体囊，长约 0.69 μm。顶体囊后端壁薄，呈袖子状，又称顶体袖（acrosomal sleeve），包围着顶体下物质（subacrosomal material），顶体下物质呈类结晶状（paracrystalline），顶体下物质形成一个厚壁而凹陷的锥体——顶体下锥（subacrosomal cone）（图 1），在纵切面上，顶体下锥前端具电子致密物质组成的基板（basal plate），形如塞子状（stopper-like shape）（图 1）。在过穿孔器的顶体囊横切面上，囊泡呈同心环状，分髓质（medulla）和皮质（cortex），髓质较宽、皮质较窄，并依次排列在穿孔器的外侧；穿孔器与顶体囊之间有一狭窄的间隙（图 1b）。几乎整个顶体下锥包围着核前端呈锥形的核伸展部（nuclear attenuation）或核尖（nuclear point）或核喙（nuclear rostrum）（图 1, 1c）。核喙止于顶体下物质前端的核外电子透亮区（epinuclear electron-lucent）（图 1）。在横切面上，整个顶体下锥呈圆形，顶体下锥前端至顶体前端逐渐扁平呈椭圆形（图 1a, 1b）。

2.1.2 细胞核（nucleus） 核由电子致密高的均质染色质组成（图 1—4）。从纵切面看，核形状弯曲呈锥形，核喙往前逐渐变细，伸入顶体下锥内，

核喙被顶体下锥所包围（图1）。核喙基部形成圆形的核肩，核肩至核基部间的核两侧近平行，宽度上稍微有所增加，核肩处的直径为0.67 μm，核后端为0.68 μm。核总长约5.85 μm，其中核尖1.67 μm。从横切面看，核始终呈圆形（图1c，3a，3b）。核基部（后方）有一个具有圆锥形的核陷窝（nuclear fossa），内有从近端中心粒（proximal centriol）延伸而来的致密物质（图2—4）。

2.2　尾部（sperm tail）

2.2.1　颈段(neckregion)　核末端与中段前端的



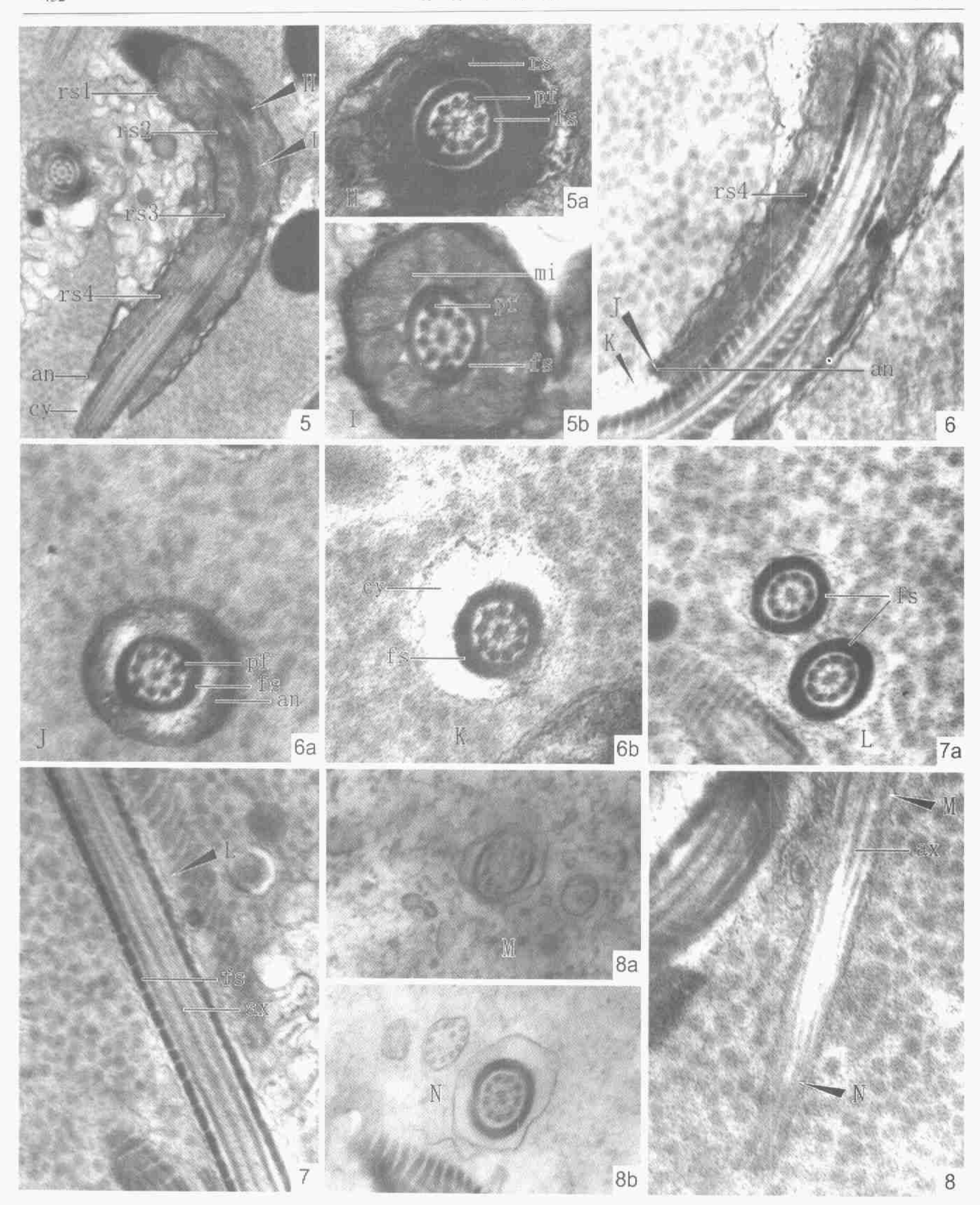


图 1—8 蓝尾石龙子精子的超微结构

Figs. 1－8 The ultrastructure of spermatozoa of *Eumeces elegans*

a：顶体囊（Acrosome vesicle）；an：终环（Annulus）；ax：轴丝（Axoneme）；bp：基板（Base plate）；cf：中央纤维（Central fiber）；co：皮质（Cortex）；cy：细胞质（Cytoplasma）；dc：远端中心粒（Distal centriole）；et：核外电子透亮区（Epinuclear electron lucent zone）；fs：纤维鞘（Fibrous sheath）；ls：片层结构（Stratified laminar structure）；me：髓质（Medulla）；mi：线粒体环（Mitochondrial ring）；n：细胞核（Nucleus）；nf：核陷窝（Nuclear fossa）；nr：核喙（Nuclear rostrum）；p：穿孔器（Perforatorium）；pc：近端中心粒（Proximal centriole）；pf：外周致密纤维（Peripheral dense fiber）；rs：环状结构（Ring structure）；sc：顶体下锥（Subacrosomal cone）。

1．顶体复合体和核前区纵切（Longitudinal section of the acrosome complex and anterior nuclear region）×30 000；
1a．顶体前端横切（Transverse sections through the anterior region of the acrosome）×40 000；
1b．穿孔器横切（Transverse sections through the perforatorium）×40 000；
1c．核喙横切（Transverse sections through the nuclear rostrum）×40 000；
2．中段纵切（Longitudinal section of the midpiece）×20 000；
3．颈区和中段前区纵切（Longitudinal section of the neck region and the anterior region of the midpiece）×40 000；
3a．核横切（Transverse sections through the nucleus）×40 000；
3b．核陷窝横切（Transverse sections through the nuclear fossa）×40 000；
3c．颈区横切（Transverse sections through the neck region）×40 000；
3d．远端中心粒横切（Transverse sections through the distal centriole）×40 000；
4．颈区和中段前区纵切（Longitudinal section of the neck region and the anterior region of the midpiece）×30 000；
5．中段和部分主段的纵切（Longitudinal section of the midpiece and the portion of the principal piece）×15 000；
5a．中段致密体横切（Transverse sections through the dense bodies of the midpiece）×40 000；
5b．中段线粒体横切（Transverse sections through the mitochondria of the midpiece）×40 000；
6．中段侧面纵切（Longitudinal section of the lateral midpiece）×30 000；
6a．终环横切（Transverse sections through the annulus）×40 000；
6b．主段前区横切（Transverse sections through the anterior region of the principal piece）×40 000；
7．部分主段纵切（Longitudinal section of the portion of the principal piece）×30 000；
7a．主段横切（Transverse sections through the principal piece）×40 000；
8．部分末段纵切（Longitudinal section of the portion of endpiece）×40 000；
8a，8b．末段横切（Transverse sections through the endpiece）×40 000.

交接区域为颈段，包括连接段、线粒体、近端中心粒和远端中心粒及相应的致密体，这些致密体包括了中段第一个环状结构（ring structure）（图2，3，5）。近端中心粒在远端中心粒的前面，两者的长轴几近垂直，由9束三联微管组成、排列成环形（图2，3），周围被一些电子致密的中心粒外周物质（pericentriolar material）包围，这些物质往前伸入核陷窝形成致密锥（dense cone），往后延伸至远端中心粒的前端，成为9束外周致密纤维（peripheral dense fiber）的基部。近端中心粒前端两侧具有一种由电子致密物质组成的明显较厚的片层结构（strtified laminar structure），形如翅状突起；片层结构一端与近端中心粒的外周物质相联，另一端与中段第一对环状结构的致密体相联（图4）。近端中心粒内的中央位置具一电子致密结构（图2，3）。远端中心粒亦称基体（basal body）或基粒（basal granule），从它产生尾部的轴丝（axoneme）。远端中心粒无纤维鞘（fibrous sheath），由环状排列的9组三联微管，以及与三联微管相联的9个外周致密纤维和1对中央微管组成。在所有远端中心粒的横切面上，均可见1对中央微管（central microtubule）和1条中央纤维（central fiber）（图3c，3d）。

2.2.2 中段（midpiece） 中段长约4.78 μm，起始于由致密体所形成的第一个环状结构，终止于后端的终环，由线粒体、环状结构（ring structure）、轴丝复合体（axenomal complex）、纤维鞘及终环（annulus）组成（图2—6）。

线粒体鞘（mitochondrial sheath）在纵切面上有4个环状结构（rs1-4），环状结构被单层线粒体区（mitochondrial region）（mi1-4）所分隔，其模式为：rs1/mi1，rs2/mi2，rs3/mi3，rs4/mi4（图2，5）。在纵切面上，第一对环状结构呈较小的卵形，其余环状结构呈三角状或梯状，由电子致密物质组成，分布于轴丝的纤维鞘外侧的线粒体间，两侧对应的环状结构有所错落，特别在鞭毛弯曲处更为明显（图2，5）。然而，在横切面上，环状结构是由连续的规则小卵状或小梯状或小三角形的致密物质所组成（图5a）。在纵切面上，线粒体呈不规则的长柱形，长约0.58 μm；横切面上呈卵圆形，每圈线粒体数目为10个（图3d，5b），内含大量纵嵴（cristae）（图2—6，3c，3d，5b）。

轴丝复合体起自远端中心粒，呈“9+2”型，外围为9束双联体微管，内有1对分离的中央微管。依据Afzelius（1981）对微管的分类，可将蓝尾石龙子精子的微管分为二类：A型，具有两条明显的动力臂；B型，无动力臂。各双联微管有明显的放射辐伸向中央微管（图5a，5b，6a）。从中段横切面上可见，9束外周致密纤维与远端中心粒相应的9束三联微管和轴丝的双联微管相黏附，沿着轴丝一直伸入至中段内，并与轴丝相应的9束双联微管相联。除双联微管3和8相邻的外周致密纤维外，其余纤维的直径明显变小。双联微管3和8的外周纤维变成了双份纤维结构，与相应的双联微管相分离，并逐渐向纤维鞘靠拢，至主段颗粒细胞质区（granular cytoplasmic zone）后外周纤维消失（图6b）。

纤维鞘位于线粒体鞘与轴丝复合体之间，为一圈纵向排列的纤维，始于中段第二层线粒体区(ms2) 的前端，占中段的71.67%。在纵切面上，纤维鞘形状规则，大多数为长方形的块状（图6，7)；在横切面上，纤维鞘呈环状，围着轴丝复合体（图5a，5b，6a，6b，7a)。终环为一位于线粒体鞘最末端的小型电子致密环。线粒体鞘向后延伸包围主段，形成一个较深的终环后隐窝（retroannular recess)。在纵切面上，终环为不规则的三角形，紧贴于细胞膜的内表面（图2，5，6)，终环横切面结构见图6a。

2.2.3 主段（principalpiece） 主段位于中段后，为精子的最长部分，由质膜、纤维鞘和轴丝复合体构成（图7)。从主段的横切面及纵切面上可见，最外侧为质膜，质膜内侧为电子致密的纤维鞘，纤维鞘由一系列纤维圆环从上到下平行排列而成，相邻纤维环之间不相连（图7)，随着主段向后延伸，纤维鞘的厚度逐渐变薄，到了末段消失。主段无线粒体和环状结构。轴丝复合体呈“9+2”型。

2.2.4 末段（endpiece） 从轴丝发出的、位于纤维鞘后的鞭毛部分为末段，其长度难以测量，纤维鞘消失，只有质膜环包于轴丝的外面。轴丝复合体仍呈“9+2”型，其结构变成20个单微管，往后逐渐解体，排列不规则（图8，8a，8b)。

3 讨 论

蓝尾石龙子精子头部具顶体囊、顶体下锥、单个穿孔器，无核内管，有核外电子透明区和核喙，与已报道的石龙子科种类（Jamiesion & Scheltinga，1993，1994；Jamieson et al，1995；Brandao et al，2003）及其他有鳞类蜥蜴的精子头部结构一致（Afzelius，1981)；锥形的顶体囊、顶体下锥和延长的核等结构在海龟(*Chelonia*)(Jamiesion & Scheltinga，1993)、楔齿蜥（*Sphenodon punctatus*）(Jamiesion & Scheltinga，1993；Healy & Jamiesion，1994)、非雀形目鸟类(non-passerine birds)(Jamiesion & Scheltinga，1993)（在平胸鸟类中无顶体下锥）和单孔类动物（monotremes）（Jamiesion & Scheltinga，1993）中均可见，也见于两栖类包括原始蛙类——尾蟾属（*Ascaphus*）（Jamiesion et al，1993)，这是两栖类和羊膜动物所具有的共同祖征（plesiomorphic）（Afzelius，1981)。在羊膜动物中，有一个或多个核内小管（endonuclear canal）以及具有一个或多个穿孔器，穿孔器穿入核前端至不同的深度（Afzelius，1981)，但有鳞类却缺乏核内小管，而保留了位于核前端的穿孔器。蓝尾石龙子精子具有延长的核、伸入中段的远端中心粒、伸入中段的纤维鞘及圆形的核肩、1对中央微管、位于线粒体间的致密体、与轴丝9个双联微管相联的9束外周致密纤维、与双联微管3和8相邻的粗外周致密纤维，这些特征是有鳞类爬行动物精子所具有的共有衍征(synapomorphies)(Jamiesion，1995b；Jamieson et al，1995，1997)。楔齿蜥（Healy & Jamieson，1994)、龟类（Cai et al，1996；Furieri，1970；Hess et al，1991）和鳄类（Jamieson et al，1997）等爬行动物具有核内小管、纤维鞘存在于主段、线粒体具不规则的同心圆状嵴及一个较大的中央致密体、线粒体间无致密体等不同的结构。蓝尾石龙子精子中段横切面上每圈线粒体数目为10个，与已报道的石龙子科种类（Jamiesion & Scheltinga，1993，1994；Jamieson et al，1995；Brandao et al，2003）每圈线粒体数目为8~10个一致，而龟类（Cai et al，1996；Furieri，1970；Hess et al，1991，Jamiesion & Scheltinga，1993）每圈线粒体数目为6个，鸟类（Jamiesion & Scheltinga，1993）和单孔类（Jamiesion & Scheltinga，1993）每圈线粒体数目为4个，有减少的趋势。两个中央微管相连的一中央纤维在羊膜动物中仅存在于爬行动物（Hess et al，1991；Jamieson & Scheltinga，1993；Oliver et al，1996；Jamieson et al，1997)。

Jamiesont 等将已研究过的石龙子科种类精子超微结构归为蜓蜥-胎生蜥群（Sphenomorphus-Egernia group)(Jamiesion & Scheltinga，1993，1994；Jamieson et al，1995）和巨石龙子群（Eugongylus group)（Jamieson et al，1995）两类模式。蓝尾石龙子精子超微结构与巨石龙子群有明显的差异，具体表现在：蓝尾石龙子顶体近顶部扁平（depressed)，穿孔器基板为塞子状，核肩圆，近端中心粒的两侧具明显的片层结构，相对于细胞核中段较短，在纵切面上中段有4个环状结构及横切面上有4个连续的环状结构，线粒体为柱状结构，纤维鞘始于ms2，与双联微管3和8相邻的外周纤维中等大小；而巨石龙子群顶体近顶部呈圆形，穿孔器基板为瘤状（knoblike)，核肩尖（sharp)，近端中心粒的两侧有柱状结构，相对于细胞核中段中等长，纵切面上有不规则分散于线粒体间的致密体及横切面上有4个

不连续的环状结构，线粒体为长管状结构，纤维鞘始于中段前部的线粒体，与双联微管3和8相邻的外周纤维较肥大。仅在核前电子透明区较大，穿孔器轻微倾斜等方面两者具有相同结构。

蓝尾石龙子精子结构与蜓蜥群和胎生蜥群石龙子较为相似，但具有以下差异：①穿孔器具塞子状的基板，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子无基板。②穿孔器轻微倾斜，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子极度倾斜。③致密体呈小卵形或小梯形或小三角形，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子致密体呈大肾形或梯形。④核前电子透明区较大，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子核前电子透明区缺。⑤纤维鞘起自中段的ms2前端，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子起自ms1前端。⑥在主段前段仍存在与双联微管3和8相联的外周致密纤维，这一点与巨石龙子组一致，而蜓蜥群和胎生蜥群石龙子在中段末端消失。眼斑铜蜥（*Chalcides ocellatus*）（Furieri，1970）与蓝尾石龙子和蜓蜥群的精子超微结构相似，皆有圆形的核肩、柱状线粒体、以及近端中心粒与第一对致密环之间的片层结构等，不同之处在于眼斑铜蜥的致密环由并列排列的小球体或颗粒组成不连续的环状结构，而蓝尾石龙子和蜓蜥群是连续的环状结构。宽头石龙子（*Eumeces laticeps*）（Okia，1990）中段线粒体被局部或完整的致密环分割，但由于描述简单，其排列模式是否与蜓蜥群相似尚不清楚。蓝尾石龙子精子超微结构与同科已报道的两种模式有一定的差异，但这类差异是否可被认为是一种独立的模式还有待于进一步研究。

参考文献：

Afzelius BA. 1981. Electron dense microtubules in the animal sperm tail [J]. *J. Submicrosc. Cytol.*, **13**: 199-207.

Brandao JC, Teixeira RD, Colli GR, Bao SN. 2003. Ultrastructure analysis of spermatozoa of lizards of the genus *Mabuya* (Scincidae, Reptilia) [J]. *Acta Microscopica*, **12** (supplement B): 617-618.

Cai YF, Pan HC, Chen BH. 1996. Ultrastructure of the spermatozoon of *Chimemys reevesii* [J]. *Acta Anat. Sin.*, **27** (3): 322-325. [蔡亚非，潘鸿春，陈壁辉. 1996. 乌龟精子的超微结构. 解剖学报，**27** (3): 322-325.]

Du WG, Ji X. 2001. Growth, sexual size dimorphism and female reproduction of blue-tailed skinks, *Eumeces elegans* [J]. *Zool. Res.*, **2** (4): 279-286. [杜卫国，计 翔. 2001. 蓝尾石龙子的生长、两性异形及雌性繁殖. 动物学研究，**2** (4): 279-286.]

Furieri P. 1970. Sperm morphology of some reptiles: Squamata and Chelonia [A]. In: Baccetti B. Comparative Spermatology [M]. New York: Accademia Nazionale dei Lincei Rome, Academic Press. 115-131.

Giugliano LG, Teixeira RD, Colli GR, Báo SN. 2002. Ultrastructure of spermatoxoa of the lizard *Ameiva ameiva*, with comsiderations on polymorphism within the family Teiidae (Squamata) [J]. *J. Morph.*, **253**: 264-271.

Healy JM, Jamieson BGM. 1994. The ultrastructure of spermatogenesis and epididymal spermatozoa of the *Sphenodon punctatus* (Sphenodontia, Amniota) [J]. *Phil. Trans. R. Soc. London*, **B344**: 187-199.

Hess RA, Thurston RJ, Gist DH. 1991. Ultrastructure of the turtle spermatozoon [J]. *Anat. Rec.*, **229**: 473-481.

Jamieson BGM. 1995a. Evolution of tetrapod spermatozoa with particular reference to amniotes [A]. In: Jamieson BGM, Ausio J, Justine J. Advances in Spermatozool Phylogeny and Taxonomy [M]. Paris: Muséum National d'Histoire Naturelle. 343-358.

Jamieson BGM. 1995b. The ultrastructure of spermatozoa of the Squamata (Reptilia) with phylogenetic considerations [A]. In: Jamieson BGM, Ausio J, Justine J. Advances in Spermatozoal Phylogeny and Taxonomy [M]. Paris: Muséum National d'Histoire Naturelle. 359-383.

Jamieson BGM, Scheltinga DM. 1993. The ultrastructure of spermatozoa of *Nangura spinosa* (Scincidae, Reptilia) [J]. *Mem. Queensl. Mus.*, **12** (24): 169-179.

Jamieson BGM, Scheltinga DM. 1994. The ultrastructure of spermatozoa of the Australian skinks, *Ctenotus taeniolatus*, *Carlia pectoralis* and *Tiliqua scincoides scincoides* (Scincidae, Reptilia) [J]. *Mem. Queensl. Mus.*, **37**: 181-193.

Jamieson BGM, Lee MSY, Long K. 1993. Ultrastructure of the spermatozoa of the internally fertilizing frog *Ascaphus truei* (Ascaphidae, Anura, Amphibia) with phylogenetic considerations [J]. *Herpetologica*, **49** (1): 52-65.

Jamieson BGM, Oliver SC, Scheltinga DM. 1995. The ultrastructure of spermatozoa of Squamata: Ⅰ. Scincidae, Gekkonidae and Pygopodidae (Reptilia) [J]. *Acta Zool.* (*Stockholm*), **77**: 85-100.

Jamieson BGM, Scheltinga DM, Tucker AD. 1997. The ultrastructure of spermatozoa of the Australian reshwater crocodile, *Crocodylus johnstoni* Krefft, 1873 (Crocodylidae, Reptilia) [J]. *J. Submicrosc. Cytol. Pathol.*, **29**: 265-274.

Okia NO. 1990. The ultrastructure of the developing sperm tail middle piece in the skink *Eumeces laticeps* (Lacertilia: Scincidae) [J]. *Electron Microscopy*, **3**: 84-85.

Oliver SC, Jamieson BGM, Scheltinga DM. 1996. The ultrastructure of spermatozoa of Squamata: Ⅱ. Agamidae, Varanidae, Colubridae, Elapidae, and Boidae (Reptilia) [J]. *Herpetologica*, **52**: 216-241.

Tavares-Bastos L, Teixeira RD, Colli GR, Báo SN. 2002. Polymorphism in the sperm ultrastructure among four species of lizards in the genus *Tupinambis* (Squamata: Teiidae) [J]. *Acta Zool.* (*Stockholm*), **83**: 297-307.

Teixeira RD, Colli GR, Báo SN. 1999a. The ultrastructure of the spermatozoa of the lizard *Micrablepharus maximiliani* (Squamata, Gymnophthalmidae), with considerations on the use of sperm ultrastructure characters in phylogenetic reconstruction [J]. *Acta Zool.* (*Stockholm*), **80**: 47-59.

Teixeira RD, Colli GR, Báo SN. 1999b. The ultrastructure of the spermatozoa of the worm-lizard *Amphisbaena alba* (Squamata, Amphisbaenidae), and the phylogenetic relationships of amphisbaenians [J]. *Can. J. Zool.*, **77**: 1254-1264.